



UFRJ

**Pablo Opazo Medina**

**ARQUITETURA DEPOSICIONAL E ESTRUTURAS DE  
DEFORMAÇÃO TECTÔNICA EM AFLORAMENTO DO INTERVALO  
PALEOGÊNICO DA BACIA DE VOLTA REDONDA (RJ, *RIFT*  
CONTINENTAL DO SUDESTE DO BRASIL)**

**Trabalho Final de Curso (Geologia)**

UFRJ

Rio de Janeiro

Dezembro de 2007



UFRJ

**Pablo Opazo Medina**

**ARQUITETURA DEPOSICIONAL E ESTRUTURAS DE  
DEFORMAÇÃO TECTÔNICA EM AFLORAMENTO DO INTERVALO  
PALEOGÊNICO DA BACIA DE VOLTA REDONDA (RJ, *RIFT*  
CONTINENTAL DO SUDESTE DO BRASIL)**

Trabalho Final de Curso de Graduação em  
Geologia, Instituto de Geociências, da  
Universidade Federal do Rio de Janeiro –  
UFRJ, como requisito necessário para  
obtenção do grau em Geologia.

Orientador:

Claudio Limeira Mello

UFRJ

Rio de Janeiro

Dezembro de 2007

Medina, Pablo Opazo

Arquitetura Depositional e Estruturas de Deformação Tectônica em Afloramento do Intervalo Paleogênico da Bacia de Volta Redonda (RJ, *Rift* Continental do Sudeste do Brasil)

vii, 36 pp.

Monografia (Graduação em Geologia) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Instituto de Geociências (IGEO/UFRJ).

1. arquitetura de depósitos fluviais 2. Neotectônica 3. bacia de Volta Redonda 4. Cenozóico

Rio de Janeiro

**Pablo Opazo Medina**

**ARQUITETURA DEPOSICIONAL E ESTRUTURAS DE  
DEFORMAÇÃO TECTÔNICA EM AFLORAMENTO DO INTERVALO  
PALEOGÊNICO DA BACIA DE VOLTA REDONDA (RJ, RIFT  
CONTINENTAL DO SUDESTE DO BRASIL)**

Trabalho Final de Curso de Graduação em  
Geologia, Instituto de Geociências, da  
Universidade Federal do Rio de Janeiro – UFRJ,  
como requisito necessário para obtenção do  
grau em Geologia.

Orientador:

Claudio Limeira Mello

Aprovada em: 21 de dezembro de 2007.

Por:

---

Orientador: Claudio Limeira Mello, UFRJ

---

André Ribeiro, UFRJ

---

Renato Rodriguez Cabral Ramos, UFRJ



## **Agradecimentos**

Ao meu orientador Claudio Limeira Mello, pela dedicação, competência, paciência e amizade.

Aos colegas e amigos Lucas Costa, Cláudio Marques e Diogo Miranda, pela ajuda em campo.

Aos colegas e amigos Thiago Pinto e Nick Dourado, pela ajuda em gabinete.

À colega para todas as horas Fernanda Ventura, pela ajuda em tempo integral e pela amizade.

Aos demais colegas do grupo de pesquisa “Evolução Geológica de Terrenos Sedimentares Cenozóicos”, Carolina Ribeiro, Diogo Borges, Renan Santos, Isis Gama, Ismael Rempto, Enzo Appi, entre outros pela ajuda na realização do trabalho.

A todos os amigos feitos durante todo o curso, em especial aos colegas do Diretório Acadêmico Joel Valença, pelo constante incentivo e pelas discussões geológicas construtivas.

A todos os meus familiares, que sempre me apoiaram e me motivaram nesta longa jornada acadêmica.

## Resumo

Medina, P.O. **Arquitetura deposicional e estruturas de deformação tectônica em afloramento do intervalo paleogênico da Bacia de Volta Redonda (RJ, *Rift Continental do Sudeste do Brasil*)**. Rio de Janeiro: UFRJ, 2007, 36p. Trabalho Final de Curso (Geologia) – Departamento de Geologia, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2007.

A bacia sedimentar de Volta Redonda constitui um hemi-gráben inserido no contexto do *Rift Continental* do Sudeste do Brasil, preenchido por rochas sedimentares, relacionadas a sistemas fluviais entrelaçados, e rochas vulcânicas. Esta bacia foi gerada por esforços distensivos de orientação NW-SE, durante o Eoceno-Oligoceno, associados à reativação de zonas de fraqueza pré-cambrianas. Movimentações transcorrentes de orientação E-W, sinistral (Neógeno) e dextral (Pleistoceno final), e novas movimentações distensivas com orientação NW-SE (Holoceno) geraram e reativaram sistemas de falhas diversos, relacionando-se à tectônica deformadora da bacia. O presente trabalho tem como objetivo analisar os padrões de heterogeneidades relacionados à arquitetura deposicional das sucessões fluviais e aos estilos de deformação tectônica, considerando que este conhecimento é de fundamental importância para a modelagem hidrogeológica dos aquíferos sedimentares, ainda pouco explorados na bacia. Para o desenvolvimento deste trabalho, foi selecionado um afloramento na Rodovia do Contorno (BR-393), cuja arquitetura deposicional foi analisada, preliminarmente, com o auxílio de fotomosaicos, complementando-se com perfis faciográficos em escala 1:20. As estruturas de deformação tectônica também foram preliminarmente descritas com o auxílio de fotomosaicos, orientando a medição dos planos de falhas. Do ponto de vista da arquitetura deposicional, foram reconhecidas duas associações faciográficas: na base, camadas tabulares de arenitos lamosos e lamitos arenosos, superpostas por conjunto de camadas areníticas e conglomeráticas, com geometria lenticular, com delgadas intercalações de camadas pelíticas. Os aspectos tectônicos observados relacionam-se a conjuntos de falhas normais, mais comuns, e transcorrentes, com orientação principal NE-SW a E-W.

Palavras-chave: arquitetura de depósitos fluviais; Neotectônica; bacia de Volta Redonda; Cenozóico

## **Abstract**

Medina, P.O. Depositional Architecture and Tectonic Structures in an Outcrop of the Paleogene Interval of the Volta Redonda Basin (RJ, Continental Rift of Southeastern Brazil). Rio de Janeiro: UFRJ, 2007, 36p. Trabalho Final de Curso (Geologia) – Departamento de Geologia, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2007.

The Volta Redonda sedimentary basin corresponds to a hemi-graben inserted in the Continental Rift of Southeastern Brazil, filled by sedimentary rocks related to braided fluvial systems, and volcanic rocks. This basin was generated by a Eocene-Oligocene NW-SE distensive tectonic event, reactivating Precambrian shear zones. A Neogene sinistral and a late Pleistocene dextral E-W strike-slip movements, and a Holocene NW-SE distensive event had generated and reactivated several systems of faults, becoming related to the tectonic deformation of the basin. The present study aims to analyze the patterns of heterogeneities related to the depositional architecture of the fluvial successions and to the styles of tectonic deformation, considering that this knowledge is of basic importance for the hidrogeological modelling of the sedimentary water-bearing, still little explored in the basin. To the development of this work, an outcrop in the Contorno Road (BR-393) was selected. The depositional architecture was preliminarily analyzed by the interpretation of photomosaics, and complemented with 1:20 scale faciologic profiles. The tectonic structures were also preliminarily described with photomosaics, guiding the measurement of faults. Two faciologic associations were recognized: at the bottom, tabular layers of muddy sandstones and sandy mudstones; and, at the top, sets of lenticular sandy and conglomeratic layers, with thin intercalations of muddy layers. Tectonic structures are related to sets of NE-SW normal faults, more commons, and NE-SW to E-W strike-slip faults.

Key-words: architecture of fluvial deposits; Neotectonics; Volta Redonda basin; Cenozoic

## Lista de figuras

Figura 1	a) Localização da bacia de Volta Redonda no contexto das bacias sedimentares que compõem o <i>Rift</i> Continental do Sudeste do Brasil; b) Mapa geológico da bacia de Volta Redonda e principais vias de acesso (o afloramento estudado no presente trabalho está localizado no ponto 5 assinalado nesta figura). <i>In: Sanson et al. (2006).</i>	3
Figura 2	Mapa geológico do segmento central da Faixa Ribeira na região das bacias de Resende e Volta Redonda (modificado de Heilbron <i>et al.</i> , 2004 – <i>in: Sanson, 2006</i> ).	5
Figura 3	Coluna estratigráfica e eventos tectônicos cenozóicos no segmento central do <i>Rift</i> Continental do Sudeste do Brasil, segundo Riccomini <i>et al.</i> (2004)	6
Figura 4	Coluna estratigráfica da bacia de Volta Redonda, segundo Sanson (2006), e eventos tectônicos cenozóicos reconhecidos por este autor.	9
Figura 5	Principais estilos tectônicos (Park, 1989): (a) regime distensivo; (b) regime compressivo; (c) regime transcorrente.	13
Figura 6	Método dos diedros retos. A) Falha (F) e plano auxiliar (A) delimitando diedros compressivos (P) e distensivos (T). A direção e o sentido de movimento da falha estão representados pelo vetor unitário de movimento (s) e (n) representa o vetor unitário ortogonal à falha. B) Projeções estereográficas dos planos F e A, onde B é a intersecção dos dois, P é o diedro compressivo e T o distensivo. C) Projeção estereográfica de falha normal e seu plano auxiliar, delimitando os campos compressivo e distensivo. D) Idem à anterior, para uma falha direcional. E) Superposição das projeções estereográficas das falhas representadas em C e D, mostrando áreas 100% compressivas, em cinza, 100% distensivas, pontilhadas, resultantes da coerência desses domínios em C e D, e áreas com 50% de cada, em branco, resultantes da superposição de domínios compressivos e distensivos. (Angelier 1994)	14
Figura 7	Fotomosaico e reconstrução estratigráfica da seção B-C, com indicação das unidades estratigráficas presentes, separadas por uma discordância erosiva. Os quadros coloridos indicam a localização dos perfis faciográficos. Destaque para falha de natureza dextral normal, com orientação ENE-WSW, que gerou abatimento das camadas da Formação Pinheiral.	22
Figura 8	Perfis faciográficos elaborados no afloramento estudado, representados pelos quadros em azul (Formação Resende), vermelho (base da Formação Pinheiral) e verde (topo da Formação Pinheiral), assinalados na figura 7.	23

Figura 9	Reconstrução estratigráfica da seção B-C, com indicação dos elementos arquiteturais caracterizados no afloramento.	24
Figura 10	Fotomosaico e reconstrução estratigráfica da seção A-B, com destaque para as falhas de orientação NE-SW que afetam tanto os depósitos da Formação Pinheiral como a sedimentação quaternária. Quadro em vermelho indica a localização da foto de detalhe apresentada na figura 11.	27
Figura 11	Foto de detalhe da seção A-B, mostrando padrão de falhas normais deslocando as camadas da Formação Pinheiral, e projeção estereográfica indicando campo de paleotensão associado a planos normais de orientação NE-SW e ENE-WSW, gerados por esforços distensionais de direção NW-SE.	27
Figura 12	Fotomosaico e reconstrução estratigráfica da seção C-D. Quadro vermelho representa foto de detalhe indicando sobreposição de diversas falhas conjugadas afetando as unidades paleogênicas. No quadro em azul, fotos de detalhe de segmento do embasamento alterado, apresentando planos de falha transcorrentes (vide estrias horizontais) em padrão conjugado (vista em planta).	29
Figura 13	Reconstrução estratigráfica e projeções estereográficas dos planos de falha identificados na seção C-D - quadros verde (primeiro conjunto), vermelho (segundo conjunto) e azul (terceiro conjunto). No quadro verde: projeção estereográfica indicando campo de paleotensão associado a planos normais de orientação NE-SW e ENE-WSW, gerados por esforços distensionais de direção NW-SE. No quadro vermelho: projeção estereográfica indicando campo de paleotensão associado a falhas normais dextrais de orientação ENE-WSW e WNW-ESE, dextrais normais de orientação NE-SW e por falhas dextrais de orientação NE-SW, ENE-WSW, WNW-ESE e E-W, geradas por esforços distensionais de direção NE-SW e esforços compressoriais NW-SE, compatíveis com um regime transcorrente dextral E-W. No quadro azul: projeção estereográfica indicando campo de paleotensão associado a falhas dextrais normais de orientação NE-SW e NW-SE e por falhas dextrais com orientação NE-SW, ENE-WSW, WNW-ESE e E-W, geradas por esforços distensionais de direção NE-SW e esforços compressoriais NW-SE, compatíveis com um regime transcorrente dextral E-W.	30
Figura 14	Fotomosaico e reconstrução estratigráfica da seção d-e, com destaque para as falhas de orientação NE-SW que afetam os depósitos da Formação Pinheiral. Quadro em vermelho indica a localização da foto de detalhe da próxima figura.	31
Figura 15	Foto de detalhe observado na seção D-E, mostrando padrão de falhas nas camadas pelíticas, e projeção estereográfica indicando campo de paleotensão associado a planos normais de orientação NE-SW e ENE-WSW, gerados por esforços distensionais de direção NW-SE.	32

**Lista de tabelas**

Tabela 1	Elementos arquiteturais e principais associações de fácies em depósitos fluviais segundo Miall (1996, <i>in</i> Moraes, 2007).	11
Tabela 2	Fácies sedimentares identificadas e suas interpretações.	17

## Sumário

Agradecimentos	i
Resumo	ii
Abstract	iii
Lista de figuras	iv
Lista de tabelas	vi
1 - Introdução	1
2 - Objetivo	2
3 - Área de Estudo	3
3.1 - Localização e Acessos	3
3.2 - Geologia Regional	4
3.3 – Estratigrafia da Bacia de Volta Redonda	7
4 - Metodologia	10
4.1 - Bases Conceituais	10
4.1.1 - Arquitetura Depositional	10
4.1.2 - Estruturas de Deformação Tectônica	12
4.2 - Material e técnicas utilizadas	15
5 - Resultados	17
5.1 - Fácies Sedimentares	17
5.2 - Arquitetura Depositional	22
5.3 - Estruturas de Deformação	26
6 - Conclusões	33
7 - Referencias Bibliográficas	34
Anexos	

## 1 – INTRODUÇÃO

As bacias do segmento central do *Rift* Continental do Sudeste do Brasil apresentam importantes reservatórios de água subterrânea, porém poucos levantamentos têm sido realizados sobre este tema. O principal estudo a respeito destes aquíferos foi efetuado no âmbito do Projeto MODESTHI (Bettini, 2004), resultando em uma modelagem estratigráfica dos reservatórios na bacia de Resende.

Albuquerque *et al.* (2003) ressaltaram a importância dos estudos neotectônicos para o refinamento de modelos hidrogeológicos relacionados ao estudo de bacias com maior complexidade tectônica, mostrando que os melhores índices de vazão e capacidade específica de aquíferos da bacia de Resende estão relacionados a compartimentos com grande ocorrência de fraturas, o que ocasiona um aumento da conectividade hidráulica do aquífero nestas porções da bacia.

A complexidade de reservatórios sedimentares fraturados torna necessária a integração de estudos de arquitetura deposicional, relacionados à análise tridimensional do arranjo e da continuidade de depósitos sedimentares, e estudos de estruturas de deformação tectônica. Dentro desta concepção, o presente trabalho procura aplicar estes conhecimentos em escala de afloramento, focando o intervalo paleogênico da bacia de Volta Redonda, onde destaca-se a ocorrência de sucessões sedimentares intensamente deformadas por estruturas rúpteis durante o Neógeno.



## **2 – OBJETIVOS**

O presente estudo tem como objetivo principal analisar, de maneira integrada, os padrões de heterogeneidades relacionados à arquitetura deposicional de sucessões fluviais e aos estilos de deformação tectônica em afloramento do registro paleogênico da bacia de Volta Redonda. Busca-se relacionar esta análise com a estratigrafia das sucessões sedimentares e com os principais eventos de deformação tectônica.

Este trabalho insere-se em uma linha de investigação do grupo de pesquisa “Evolução Geológica de Terrenos Sedimentares Cenozóicos”, do Departamento de Geologia da UFRJ, onde busca-se fundamentar a aplicabilidade destes estudos na análise de reservatórios sedimentares fraturados, que no caso da bacia de Volta Redonda são representados por aquíferos livres a semi-confinados, cuja modelagem hidrogeológica ainda se encontra pouco explorada.

### 3 - ÁREA DE ESTUDO

#### 3.1 - Localização e Acessos

A bacia de Volta Redonda localiza-se no sul do estado do Rio de Janeiro, no médio vale do rio Paraíba do Sul, entre os municípios de Barra Mansa, Volta Redonda e Pinheiral (figura 1). Os principais acessos são as rodovias BR-116 (Via Dutra), que liga o Rio de Janeiro a São Paulo, e BR-393, que liga a Via Dutra à Rio-Bahia, além de rodovias estaduais.

O registro deposicional está dividido em duas principais áreas de sedimentação: uma, ao longo do rio Paraíba do Sul, com manchas localizadas entre as cidades de Volta Redonda e Barra Mansa; e outra, denominada Gráben de Casa de Pedra, que constitui a principal área sedimentar, alongada com direção WSW-ENE entre as cidades de Volta Redonda e Pinheiral.

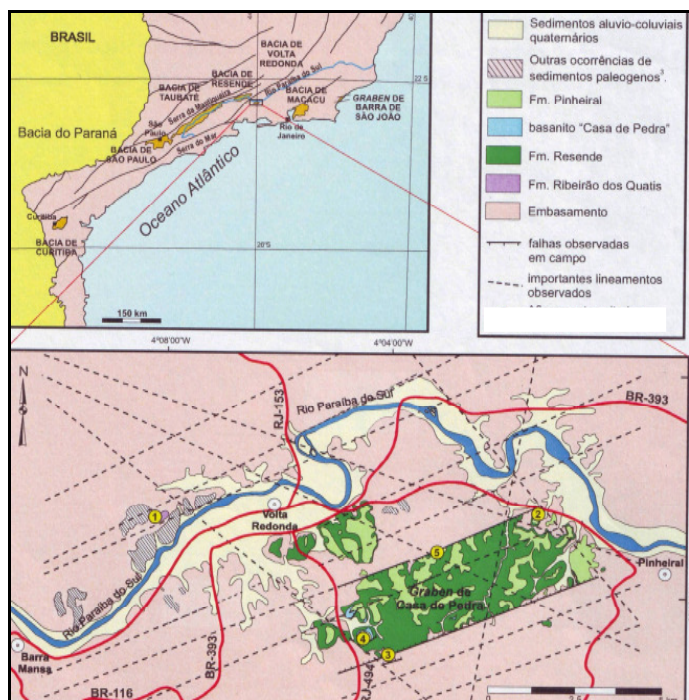


Figura 1 – a) Localização da bacia de Volta Redonda no contexto das bacias sedimentares que compõem o *Rift* Continental do Sudeste do Brasil; b) Mapa geológico da bacia de Volta Redonda e principais vias de acesso (o afloramento estudado no presente trabalho está localizado no ponto 5 assinalado nesta figura). *In*: Sanson *et al.* (2006).

### 3.2 - Geologia Regional

A bacia de Volta Redonda, juntamente com as bacias de São Paulo, Taubaté e Resende, compõe o segmento central do *Rift* Continental do Sudeste do Brasil (RCSB – figura 1), que constitui um complexo de vales tectônicos, serras e bacias sedimentares com orientação ENE-WSW, de idade Eoceno-Oligoceno (Ricommini, 1989).

Esta região, antes denominada por Almeida (1976) como “Sistema de Riftes da Serra do Mar”, tem sua história evolutiva relacionada ao contexto da ruptura continental e abertura do Atlântico Sul, iniciada no Jurássico Final/Cretáceo Inicial (Hasui *et al.*, 1978). Em resposta à subsidência da área oceânica da bacia de Santos, teria ocorrido, no Paleógeno, um processo de movimentação causado por isostasia, que resultou no soerguimento da área continental adjacente e a formação das serras do Mar e da Mantiqueira, seguido de deposição de sedimentos detríticos, além de magmatismo alcalino associado. Conseqüentemente, iniciou-se uma reativação tectônica de zonas de fraqueza pré-cambrianas, localizadas na região entre estas duas serras, que ocasionou em movimentação distensional e geração do sistema de riftes.

Segundo Hasui *et al.* (1975), as bacias que compõem o RCSB estão inseridas no segmento central da Faixa Móvel Ribeira, cinturão de rochas intensamente remobilizadas e metamorfizadas durante o Ciclo Brasileiro (590-720 Ma). De acordo com Trouw *et al.* (2000), a Faixa Ribeira esteve sujeita a diversas fases orogênicas, que levaram à individualização complexa de unidades geológicas por descontinuidades tectônicas segundo uma direção ENE-WSW.

No mapa tectônico elaborado por Heilbron *et al.* (2004), os depósitos da bacia de Volta Redonda encontram-se sobre um substrato proterozóico composto por ortogranulitos (Complexo Juiz de Fora), ortognaisses (Complexo Quirino) e metassedimentos (Grupo Paraíba do Sul), além de granitóides sintectônicos brasileiros (figura 2).

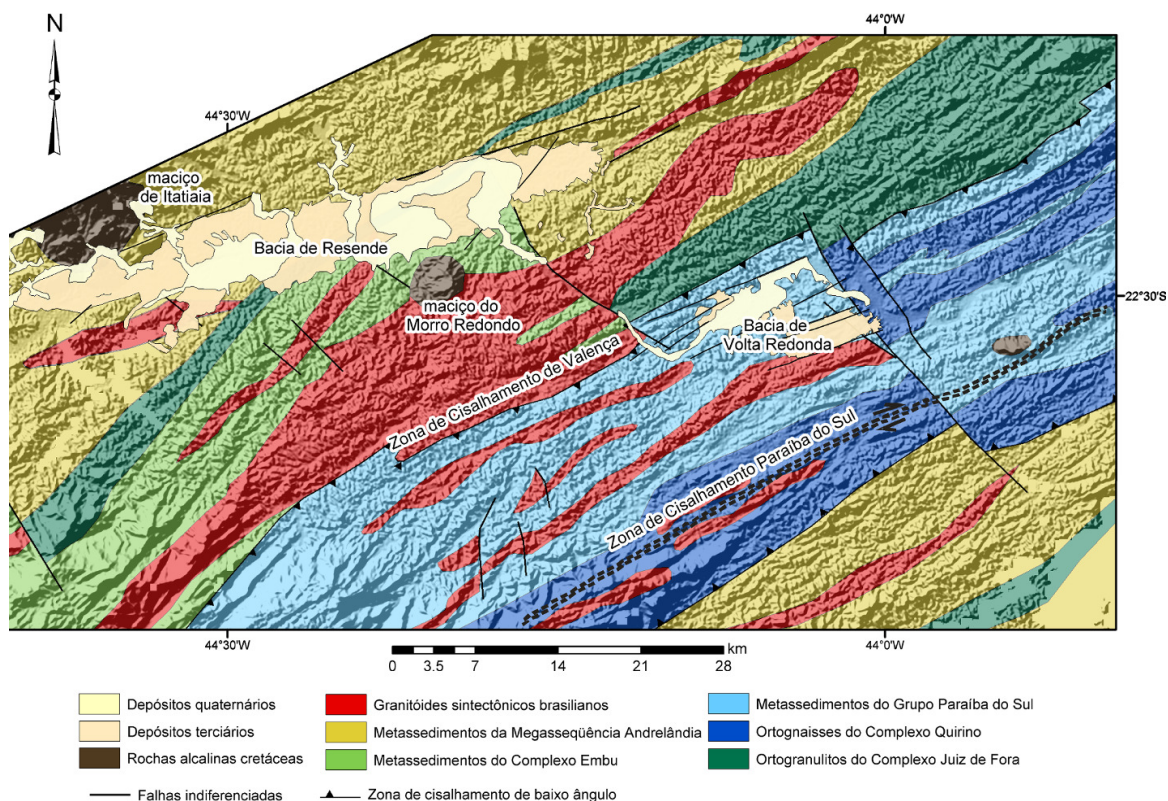


Figura 2 – Mapa geológico do segmento central da Faixa Ribeira na região das bacias de Resende e Volta Redonda (modificado de Heilbron *et al.*, 2004 – *in*: Sanson, 2006).

O principal preenchimento sedimentar desenvolvido nas bacias do segmento central do RCSB corresponde a depósitos conglomeráticos a arenosos intercalados com depósitos lamíticos, relacionados a sistemas de leques aluviais e canais fluviais entrelaçados paleogênicos (Formação Resende - figura 3). Na bacia sedimentar de Volta Redonda, derrames basálticos de composição alcalina encontram-se intercalados neste pacote deposicional.

Riccomini (1989), com base na análise de estruturas tectônicas (falhas com estrias, juntas e dobras) e suas relações estratigráficas com o preenchimento sedimentar, elaborou o primeiro modelo tectônico contemplando o tectonismo gerador e modificador para o segmento central do RCSB.

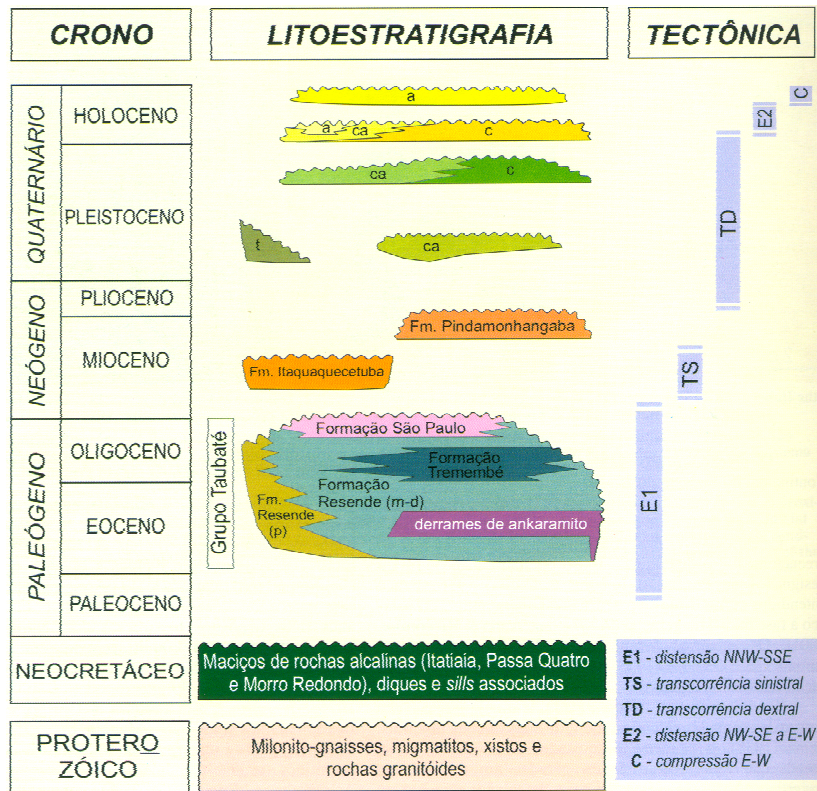


Figura 3 – Coluna estratigráfica e eventos tectônicos cenozóicos no segmento central do *Rift* Continental do Sudeste do Brasil, segundo Riccomini *et al.* (2004)

Neste trabalho, Riccomini (1989) reconheceu três fases neotectônicas que afetaram os depósitos cenozóicos, envolvendo novas reativações ao longo das falhas preexistentes e, em menor escala, geração de novas estruturas. Os eventos deformadores reconhecidos por Riccomini (1989) compreendem, sucessivamente (figura 3): 1) regime de transcorrência sinistral de direção E-W, com distensão NW-SE e, localmente, compressão NE-SW, de idade neogênica (Mioceno?); 2) regime de transcorrência dextral E-W, com compressão NW-SE, de idade quaternária (Pleistoceno); e 3) regime de distensão de direção WNW-ESE, de idade holocênica. Com base nos dados de mecanismos focais de terremotos então disponíveis, Riccomini (1989) inferiu ainda a existência de nova variação no campo de esforços, para compressão E-W, que viria a ser posteriormente confirmada (Salvador & Riccomini, 1995).



### 3.3 – Estratigrafia da Bacia de Volta Redonda

Existem poucos trabalhos sobre a estratigrafia da bacia de Volta Redonda, sendo o trabalho publicado por Amador & Castro (1976) o primeiro a tentar explicar o preenchimento sedimentar da bacia, atribuindo a uma idade neoceno-zóica.

Melo *et al.* (1983), além de revisarem a estratigrafia da bacia, subdividiram-na em duas principais áreas de sedimentação do registro paleogênico, denominando como Gráben de Casa de Pedra a principal acumulação deposicional. Estes autores descreveram, na parte oeste do Gráben de Casa de Pedra, derrames de rochas ultrabásicas alcalinas entre os depósitos paleogênicos.

Sanson (2006) propôs uma nova coluna estratigráfica para a bacia (figura 4), que será detalhada a seguir, desenvolvendo um mapeamento detalhado dos depósitos paleogênicos da região de Volta Redonda.

As unidades estratigráficas reconhecidas por Sanson (2006) são:

- **Formação Ribeirão dos Quatis:** depósitos predominantemente conglomeráticos, com arenitos subordinados, dispostos em discordância sobre o embasamento pré-cambriano, interpretados como depósitos típicos de um sistema fluvial entrelaçado, representando a fase pré-rifte das bacias do RCSB;
- **Formação Resende:** designa o principal registro sedimentar identificado na bacia de Volta Redonda, sendo constituída principalmente por arenitos arcoseanos e conglomerados finos, com estratificações cruzadas, relacionados a um sistema de canais fluviais entrelaçados, com participação pouco expressiva de lamitos arenosos e arenitos lamosos esverdeados associados a fluxos de detritos em um contexto de leques aluviais;

- **Basanito Casa de Pedra:** derrames ultramáficos alcalinos (ankaramíticos), primeiramente caracterizados por Melo *et al.* (1983), intercalados ao registro sedimentar paleogênico. A rocha apresenta textura porfirítica, maciça, ou com vesículas e amígdalas, com fenocristais de olivina. Riccomini *et al.* (2004) apresentaram idades aparentes mínimas de  $48,3 \pm 0,5$  e  $47,6 \pm 0,7$  Ma para estas rochas, através do método de datação Ar-Ar, situando-as no Eoceno médio.
- **Formação Pinheiral:** conglomerados, arenitos conglomeráticos e arenitos arcoseanos, maciços ou com estratificações cruzadas ou planares, que correspondem a reativações de complexos de canais entrelaçados bastante expressivos. Apresenta um padrão de intercalação entre as fácies arenosas e rudáceas, com eventual registro de sedimentação pelítica relacionada a eventos de inundação e avulsão dos canais fluviais. Estes depósitos apresentam-se discordantemente sobre a Formação Resende e, em algumas localidades, sobre o Basanito Casa de Pedra;
- **Sedimentos neogênicos:** depósitos areno-argilosos, castanho-amarelados, muito mal selecionados, com grânulos e seixos de quartzo dispersos, que ocorrem diretamente sobre o embasamento ou sobre os depósitos paleogênicos, recobrando a morfologia de colinas;
- **Sedimentos quaternários:** representado por depósitos de terraços de cascalho pleistocênicos e depósitos holocênicos arenosos e areno-argilosos, muito mal selecionados, aluviais e coluviais, depositados nos vales fluviais e nas cabeceiras de drenagem. Sanson (2006), baseado em trabalhos de Mello (1992) e Mello *et al.* (1995), relacionou os depósitos holocênicos a um episódio de grande instabilidade na paisagem durante o Holoceno inicial a médio, marcado por intensa erosão nos sistemas de drenagens regionais, resultando no entulhamento dos vales fluviais e cabeceiras de drenagem.

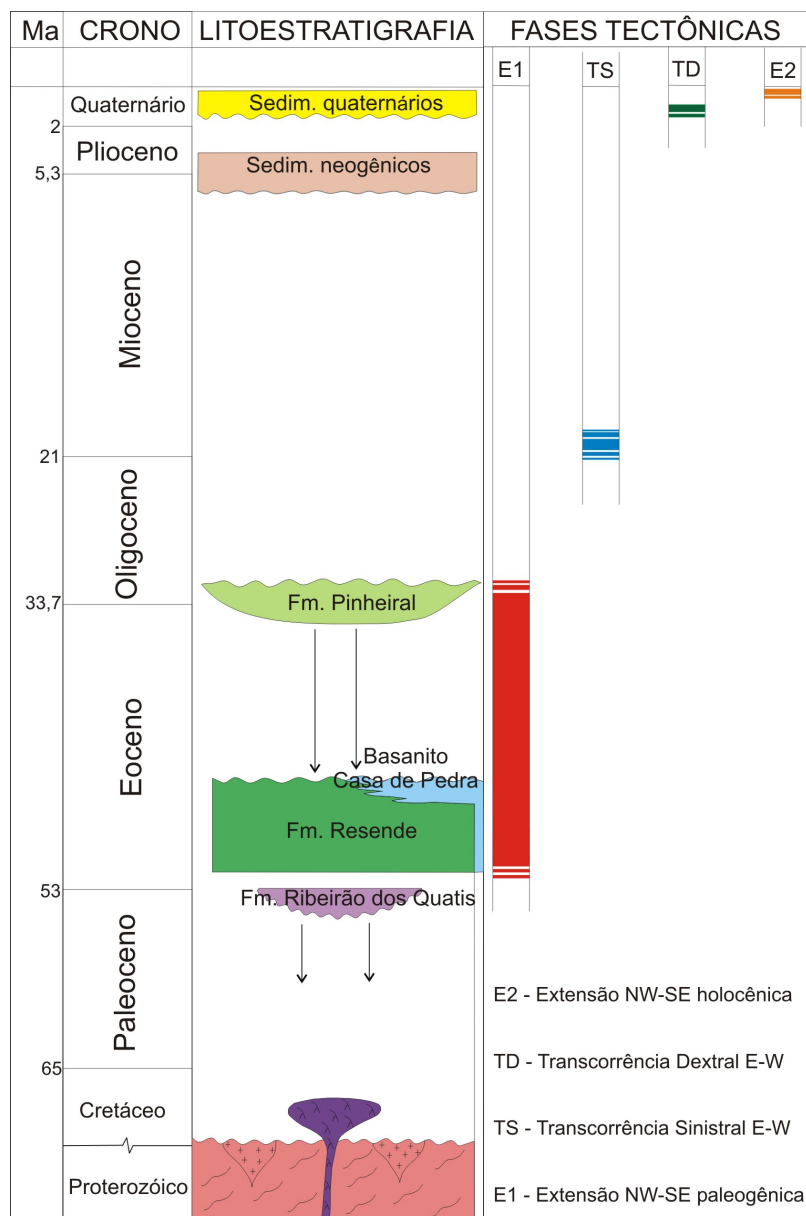


Figura 4 – Coluna estratigráfica da bacia de Volta Redonda, segundo Sanson (2006), e eventos tectônicos cenozóicos reconhecidos por este autor.



## **4 – METODOLOGIA**

### **4.1 – Bases Conceituais**

#### **4.1.1 Arquitetura Depositional**

Entende-se por arquitetura deposicional a disposição tridimensional das fácies sedimentares e suas associações (Borghi, 2000).

O termo fácies sedimentar designa, genericamente, um corpo de rocha sedimentar com características específicas, onde cada fácies é definida com base na cor, acamamento, composição, textura, fósseis e estruturas sedimentares (Reading, 1986), constituindo não somente um elemento de descrição de uma sucessão sedimentar, como também possuindo grande importância na interpretação genética. No presente trabalho, a análise de fácies considerou os seguintes atributos: litologia, textura e estruturas sedimentares.

A caracterização das diversas fácies presentes numa sucessão deposicional indica os diversos processos sedimentares que atuaram no paleoambiente que gerou tais depósitos. A associação dos processos sedimentares atuantes leva a uma interpretação do ambiente deposicional que originou a sucessão estratal estudada.

O estudo tridimensional de fácies leva à identificação de “elementos arquiteturais” (Miall, 1996; Borghi, 2000), consistindo em corpos sedimentares caracterizados pela geometria estratal, escala e por um conjunto distinto de fácies que guardam entre si uma relação genética. Miall (1996) sugeriu um conjunto dos principais elementos arquiteturais em depósitos fluviais (Tabela 1).

Elementos	Código	Assembléia de fácies principal	Geometria e relações com outros elementos
Canais	CH	qualquer combinação	corpos de base côncava, erosiva, com formas e escalas altamente variáveis; superfícies erosivas internas, côncavas para cima
Barras e formas de leito de conglomerados	GB	Gm , Gp, Gt	geometria tabular ou lenticular; comumente interacamados com SB
Formas de leito arenosas	SB	St, Sp, Sh, Sl, Sr, Se , Ss	geometria lenticular, tabular ou em cunha; preenchimento de canais ou barras
Macroformas de acreção frontal	DA	St, Sp, Sh, Sl, Sr, Se , Ss	geometria lenticular com base acanalada ou plana; superfícies erosivas internas convexas para cima
Macroformas de acreção lateral	LA	St, Sp, Sh, Sl, Se , Ss, Gm*, Gt, Gp	geometria tabular, em cunha ou em lobo; caracterizado por superfícies internas de acreção lateral
Concavidades de escavação	HO	Gh, Gt, St, Sl	forma côncava, com preenchimento assimétrico
Depósitos de fluxos gravitacionais	SG	Gmm, Gmg, Gcl, Gcm	geometria tipicamente em lobo ou tabular; tipicamente interacamado com GB
Lençóis de areias laminadas	LS	Sh, Sl, Sp, Sr	geometria tabular
Pelitos de planície de inundação	FF	Fsm, Fl, Fm, Fr	geometria tabular; comumente interacamado com SB; pode representar preenchimentos de canais abandonados

Tabela 1 - Elementos arquiteturais e principais associações de fácies em depósitos fluviais segundo Miall (1996, *in* Morais, 2007).

Em uma análise de arquitetura deposicional de uma sucessão sedimentar, pode se avaliar também os diferentes níveis de complexidade. Uma complexidade baixa representa depósitos onde os contatos são praticamente contínuos, sem geração de superfícies discordantes, geralmente apresentando geometria tabular. Um nível de complexidade médio exibe freqüentes truncamentos dos elementos que compõem os depósitos, com geometria lenticular das camadas na maioria dos casos. Um nível de complexidade alto representa sucessões de fácies delimitadas por superfícies discordantes, sem uma fácil determinação da geometria das camadas.

Segundo Paim *et al.* (2003), a análise das heterogeneidades definidas pela arquitetura estratigráfica e deposicional, pela geometria das fácies e pelos atributos texturais contribui para o reconhecimento de sítios deposicionais favoráveis a concentração de depósitos minerais, além de interferir nos caminhos preferenciais de percolação de fluidos. Estes mesmos autores afirmam que a análise integrada das heterogeneidades, externas e internas, responsáveis pelo controle do fluxo de fluidos no reservatório, bem como o detalhamento dos atributos composicionais das rochas, tem grande significado para a definição de projetos de repercussão avançada de campos de petróleo.

O entendimento das relações entre as heterogeneidades internas e externas de reservatórios e os atributos de arquitetura e geometria das distintas litofácies, em diferentes escalas de observação, possibilita o modelamento geométrico de reservatórios e posterior simulação de fluxo fluido em seus respectivos contextos permoporosos (Paim *et al.* 2003). Tais procedimentos, desenvolvidos em projetos cooperativos multidisciplinares, são fundamentais para a definição dos planos de desenvolvimento de reservatórios, visando máxima recuperação.

#### **4.1.2 Estruturas de Deformação Tectônica**

As estruturas de deformação tectônica encontradas representam feições de natureza rúptil, com movimentações de caráter distensivo e transcorrente. A partir da identificação de indicadores cinemáticos, podem ser caracterizados os estilos de deformação tectônica (figura 5) e pode ser efetuada a análise de campos de paleotensão.

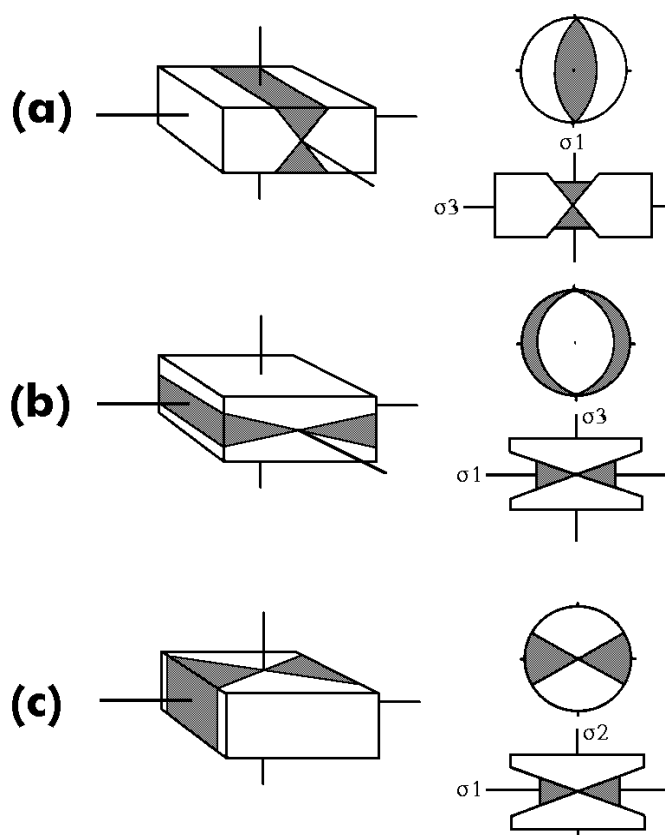


Figura 5 – Principais estilos tectônicos (Park, 1989): (a) regime distensivo; (b) regime compressivo; (c) regime transcorrente.

Para a análise de paleotensões, visando a obtenção dos eixos de tensão  $\sigma_1$  (compressão máxima),  $\sigma_2$  (compressão intermediária) e  $\sigma_3$  (compressão mínima), a partir da orientação e cinemática de pares de falha/estria, Angelier & Mechler (1977) desenvolveram o método dos diedros retos (figura 6). Os diedros são delimitados pelo posicionamento de um plano imaginário, denominado auxiliar, ortogonalmente ao plano de falha e à direção das estrias situadas nesse plano. A superposição das áreas de tensão máxima e mínima, em projeção estereográfica, para diversas falhas irá indicar a posição dos eixos de tensões principais.

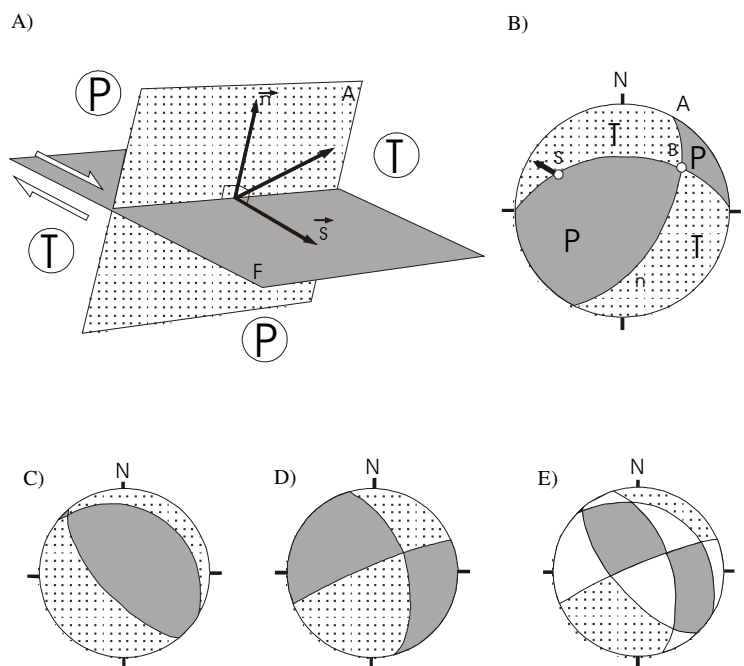


Figura 6 – Método dos diedros retos. A) Falha (F) e plano auxiliar (A) delimitando diedros compressivos (P) e distensivos (T). A direção e o sentido de movimento da falha estão representados pelo vetor unitário de movimento (s) e (n) representa o vetor unitário ortogonal à falha. B) Projeções estereográficas dos planos F e A, onde B é a intersecção dos dois, P é o diedro compressivo e T o distensivo. C) Projeção estereográfica de falha normal e seu plano auxiliar, delimitando os campos compressivo e distensivo. D) Idem à anterior, para uma falha direcional. E) Superposição das projeções estereográficas das falhas representadas em C e D, mostrando áreas 100% compressivas, em cinza, 100% distensivas, pontilhadas, resultantes da coerência desses domínios em C e D, e áreas com 50% de cada, em branco, resultantes da superposição de domínios compressivos e distensivos. (Angelier, 1994)

É conhecida a relação entre as estruturas de deformação tectônica e a influência que estas exercem na qualidade de um reservatório, já que falhas e juntas interferem na migração de um fluido, podem atuar como potencial selante ou na formação de porosidade secundária.

Segundo Borba *et al.* (2004), como potencial selante, entende-se a capacidade que a falha tem de reter a pressão exercida por um fluido. A formação de *gouge* de falha gera uma rocha com pior seleção e menor granulometria, formando uma zona de pressão capilar mais elevada e permeabilidade mais reduzida, que permitirá selar uma determinada coluna de

fluido, representando, portanto, uma restrição ao fluxo. Outra propriedade selante é a precipitação de cimentos em zonas de falha, geradas pela percolação de fluidos ao longo da história geológica, favorecida pela tendência de incremento da permeabilidade vertical ao longo de planos de cisalhamento.

As propriedades selantes das falhas na escala de tempo de produção podem ser distintas das condições estáticas. Em situações dinâmicas, falhas não-selantes podem constituir barreiras ao fluxo devido à baixa transmissibilidade do fluido através da zona de falha. Com isso, zonas de falha podem ser tratadas com redutores de transmissibilidade em fluxo de reservatórios (Borba *et al.*, 2004).

Estruturas de caráter distensivo estão relacionadas à formação de porosidade secundária em reservatórios naturalmente fraturados, onde fluidos podem migrar para zonas de fraturas destas rochas aumentando a capacidade e qualidade do reservatório. Estudos de neotectônica e hidrogeológicos integrados na bacia de Resende (Albuquerque *et al.*, 2003) concluíram que índices de maiores vazões encontram-se associados a áreas com *trends* de falhas distensivas, onde as fraturas exercem grande influência no controle hidráulico do aquífero.

#### **4.2 – Material e técnicas utilizadas**

Para a execução deste trabalho, foi selecionado um afloramento situado na Rodovia do Contorno, na borda norte do Gráben de Casa de Pedra, nas coordenadas 0597714 S e 7509225 W (*datum* Córrego Alegre, Zona 23 S, UTM). Trata-se de um afloramento estudado anteriormente por Sanson (2006), que apresenta grande extensão lateral, permitindo uma boa visualização da geometria estratal dos depósitos fluviais, assim como diversas estruturas de deformação tectônica.

Inicialmente, foram obtidas fotografias do afloramento, com câmera digital *Sony Cybershot 5.0 megapixels*, sendo a emenda das fotos para a criação de fotomosaico feita no

programa *CorelDraw 11*, em gabinete. Posteriormente, os fotomosaicos foram interpretados sobre papel acetato, onde foram delimitadas as feições relacionadas à arquitetura deposicional e as estruturas de deformação tectônicas observadas. Nesta etapa, o afloramento foi subdividido em 4 partes (A-B, B-C, C-D, D-E) para facilitar a sua interpretação. Novamente no campo, foram feitas verificações e correções, com melhor detalhamento do fotomosaico, dando origem à interpretação final, que foi reconstituída no programa *CorelDraw11*.

Durante os trabalhos de campo, dois perfis faciológicos verticais foram realizados, em escala 1:20, sendo depois digitalizados e reconstituídos utilizando também o programa *CorelDraw11*.

Para a identificação das fácies, foi adotado um código alfanumérico, a fim de representá-las de forma simplificada, à semelhança da proposta de Miall (1985). A primeira letra, em maiúsculo, representa a litologia dominante. A segunda letra corresponde a estruturas sedimentares ou outras características diagnósticas presentes. Quando necessário, utilizou-se uma terceira letra, também para estes atributos. As fácies encontradas foram interpretadas e relacionadas aos trabalhos de Ramos (2003), Sanson (2006) e Marques (2006).

As medidas estruturais de falha/estria foram coletadas em campo utilizando bússola *Brunton*. Em seguida, foram classificadas segundo sua cinemática, orientação e unidade estratigráfica afetada, para se ter uma idéia dos estilos tectônicos presentes no afloramento, assim como sua relação com rochas da sucessão sedimentar falhada.

Com esses dados, uma tabela com todas as medidas estruturais coletadas foi confeccionada, onde cada estrutura de deformação tectônica observada foi catalogada conforme a atitude do plano (*dip/dip*), a atitude da estria, o tipo de fratura, orientação do plano, tipo de regime tectônico e unidade estratigráfica afetada (anexo 1). Por fim, as medidas estruturais foram analisadas utilizando rede estereográfica, para posteriormente serem interpretados os campos de paleotensão segundo o método dos diedros retos.

## 5 – RESULTADOS

### 5.1 Fácies Sedimentares

Foram identificadas sete fácies sedimentares, sendo duas rudíticas, quatro areníticas e uma lutítica. A tabela 2 mostra essas fácies comparadas às equivalentes dos trabalhos publicados por Marques (2006), Sanson (2006) e Ramos (2003), além de suas diagnoses e respectivas interpretações.

<b>Fácies</b>	<b>(Marques 2006)</b>	<b>(Sanson 2006)</b>	<b>Ramos 2003)</b>	<b>Diagnose</b>	<b>Interpretação</b>
Ch	Cch	Ch	Ch	Conglomerado sustentado pelos clastos, com estratificação horizontal	Fluxos trativos unidirecionais subaquosos, intensos e rápidos
Ca	-	Ca	Ct	Conglomerado sustentado pelos clastos, com estratificação cruzada acanalada	Acreção frontal de megaondulações de cascalhos com cristas sinuosas, em correntes trativas unidirecionais subaquosas
Ac	Ac	Aa, Ap	At, Ap	Arenito com estratificação cruzada	Correntes trativas unidirecionais em meio aquoso
Al	Al	-	Ah2	Arenito laminado	Fluxos trativos subaquosos de baixa energia.
Am	Am <sub>2</sub>	Am	Am2	Arenito maciço	Fluxos trativos unidirecionais subaquosos; modificações pós-deposicionais
Alm	Alm	Alm	Am2	Arenito lamoso, maciço	Paleossolos aluviais (?)
Pl	Pl	Pl	Pm2	Pelito arenoso, maciço a laminado	Decantação de sedimentos finos em planície de inundação

Tabela 2 – Fácies sedimentares identificadas e suas interpretações.



### **Fácies Ch**

*Diagnose* - conglomerado sustentado pelos clastos, com estratificação horizontal.

*Descrição* - os depósitos da fácies Ch apresentam arcabouço constituído de grânulos e seixos arredondados de quartzo, com média de 3 cm de diâmetro, chegando a ter 8 cm, com matriz de areia grossa a muito grossa, feldspática. São dispostos em camadas lenticulares extensas, com espessura variando de 20 cm a 25 cm, com bases erosivas e, ocasionalmente, gradacionais. A estratificação horizontal pode apresentar-se de forma incipiente. A coloração é cinza esbranquiçado a oliva acastanhado. Esta fácies encontra-se, freqüentemente, na base de camadas arenosas.

*Interpretação* - estes depósitos são relacionados à migração de lençóis de cascalho em episódios de descarga intensa e rápida de água e sedimentos. Corresponde à fácies Cch descrita por Marques (2006) e à fácies Ch descrita por Ramos (2003) e por Sanson (2006).

### **Fácies Ca**

*Diagnose:* conglomerado sustentado pelos clastos, com estratificação cruzada acanalada.

*Descrição:* o arcabouço é composto por grânulos e seixos de quartzo com 3 a 5 cm de diâmetro, arredondados a subarredondados. Apresenta matriz de areia muito grossa, feldspática. As camadas possuem espessuras médias de 25 cm, com bases erosivas, muitas vezes formando linhas de seixos de quartzo subangulosos, com cerca de 1 a 2 cm de diâmetro. Ocasionalmente, podem apresentar concentrações de intraclastos argilosos na base das camadas, subarredondados a arredondados, com 1 a 3 cm de diâmetro. A coloração é cinza esbranquiçado a oliva acastanhado.

*Interpretação:* esses depósitos são formados pela acreção frontal de megaondulações de cascalho de crista sinuosa, por correntes trativas unidirecionais em meio aquoso.

Corresponde à fácies Ca de Sanson (2006) e à fácies Ct descrita por Ramos (2003) nas sucessões fluviais da bacia de Resende.

### **Fácies Ac**

*Diagnose* - arenito com estratificação cruzada.

*Descrição* - os depósitos da fácies Ac correspondem a arenitos grossos a muito grossos, arcoseanos, moderadamente a mal selecionados, freqüentemente contendo grânulos e seixos subangulosos a arredondados de quartzo. Ocorrem dispostos em camadas tabulares ou lenticulares extensas, com espessuras médias de 50 cm, chegando a ter cerca de 1m. As camadas ocasionalmente apresentam linhas de cascalho que muitas vezes acompanham as superfícies das estratificações cruzadas. Apresentam cores amarelo acastanhado a amarelo esbranquiçado. Estes depósitos são os de ocorrência mais significativa no afloramento estudado.

*Interpretação* - esta fácies é associada a correntes trativas unidirecionais em meio aquoso (regime de fluxo inferior). Corresponde às fácies Aa e At de Sanson (2006) e as fácies At e Ap de Ramos (2003), que foram reunidas sob a denominação Ac por Marques (2006) e neste presente trabalho. Os processos geradores desta fácies são interpretados como a migração de megaondulações de crista reta ou sinuosa, por correntes trativas em meio subaquoso.

### **Fácies Al**

*Diagnose* - arenito laminado.

*Descrição* - os depósitos da fácies Al correspondem a arenitos finos, quartzosos e feldspáticos. Estão dispostos em camadas lenticulares decimétricas pouco extensas. Sua coloração é castanho amarelado.

*Interpretação* - estes depósitos são relacionados a fluxos trativos subaquosos de baixa energia. Esta fácies foi descrita por Marques (2006) e pode ser comparada à fácies Ah2 de Ramos (2003), relacionada à deposição em regime de fluxo inferior, causada pela perda de velocidade da corrente e agitação vertical dos materiais.

### **Fácies Am**

*Diagnose* - arenito maciço.

*Descrição* - os depósitos da fácies Am têm arcabouço composto por areias médias a muito grossas, quartzosas e feldspáticas (feldspatos caulinizados), mal selecionadas. Ocorrem grânulos e seixos dispersos de quartzo e feldspato, subangulosos a subarredondados, às vezes distribuídos em níveis conglomeráticos de até 3 cm de espessura. São dispostos em camadas lenticulares a tabulares, com espessuras médias de 20 cm, e bases erosivas ou gradacionais. Às vezes encontram-se bioturbações animais e marcas de raízes. Sua coloração é laranja claro a vermelho esbranquiçado, às vezes mostrando caráter mosqueado. Esta coloração indica um processo de ferruginização.

*Interpretação* - estes depósitos são interpretados como o resultado de correntes trativas unidirecionais em meio aquoso, onde o caráter maciço está principalmente relacionado a modificações pós-deposicionais. Esta fácies se assemelha à fácies Am<sub>2</sub> de Marques (2006), à fácies Am de Sanson (2006) e à fácies Am1 de Ramos (2003), tendo sido interpretadas como produto de fluxos não confinados.

### **Fácies Alm**

*Diagnose* – arenito lamoso maciço.

*Descrição* - os depósitos da fácies Alm possuem arcabouço constituído por areias finas a médias, subangulosas a subarredondadas, quartzosas, pouco feldspáticas, micáceas (muscovita), com presença de matriz lamosa. Ocasionalmente observa-se bioturbação animal e marca de raízes. Apresentam-se dispostos em camadas lenticulares de até 60 cm de

espessura, com base pouco nítida, gradacional. Possuem coloração verde oliva a verde acinzentada.

*Interpretação* – esta fácies é interpretada como paleossolos aluviais. Estes depósitos se assemelham às fácies Am2 de Ramos (2003) e Alm de Sanson (2006) e Marques (2006), interpretadas como fluxos gravitacionais do tipo corridas de lama.

### **Fácies Pl**

*Diagnose* – pelito arenoso, maciço a laminado.

*Descrição* - depósitos siltico-argilosos, micáceos. Ocorrem em camadas lenticulares com espessuras decimétricas, base plana e topo escavado, podendo compor conjuntos de camadas com até 1,20 m de espessura. Apresentam coloração cinza escura a branca.

*Interpretação* - esta fácies é relacionada à decantação de sedimentos finos em períodos de inundação. Pode ser comparada à fácies Pl de Marques (2006) e Sanson (2006). Ramos (2003) reconhece a fácies Pm2 como produto do abandono brusco de canais em estágio final de eventos de avulsão.

## 5.2 Arquitetura Depositional

Entre as quatro partes em que o afloramento estudado foi dividido para sua análise, a seção B-C é a que melhor caracteriza as variações faciológicas e estratigráficas das unidades presentes, já que neste local as sucessões encontram-se pouco deformadas e apresentando boa continuidade lateral. Nesta seção, foram descritos depósitos relacionados às formações Resende e Pinheiral, separadas por uma superfície discordante (figura 7), sendo determinados os principais elementos arquiteturais presentes em cada unidade.

Foram elaborados dois perfis faciológicos (figura 8), um na Formação Resende e outro nos depósitos da Formação Pinheiral. Este último perfil foi separado em duas partes, já que foi observada uma falha com orientação ENE-WSW, de natureza dextral normal, que gerou abatimento das camadas desta unidade, sendo possível confeccionar um perfil completo, desde a base da sucessão, no bloco soerguido, ao topo, no bloco abatido (figura 8).

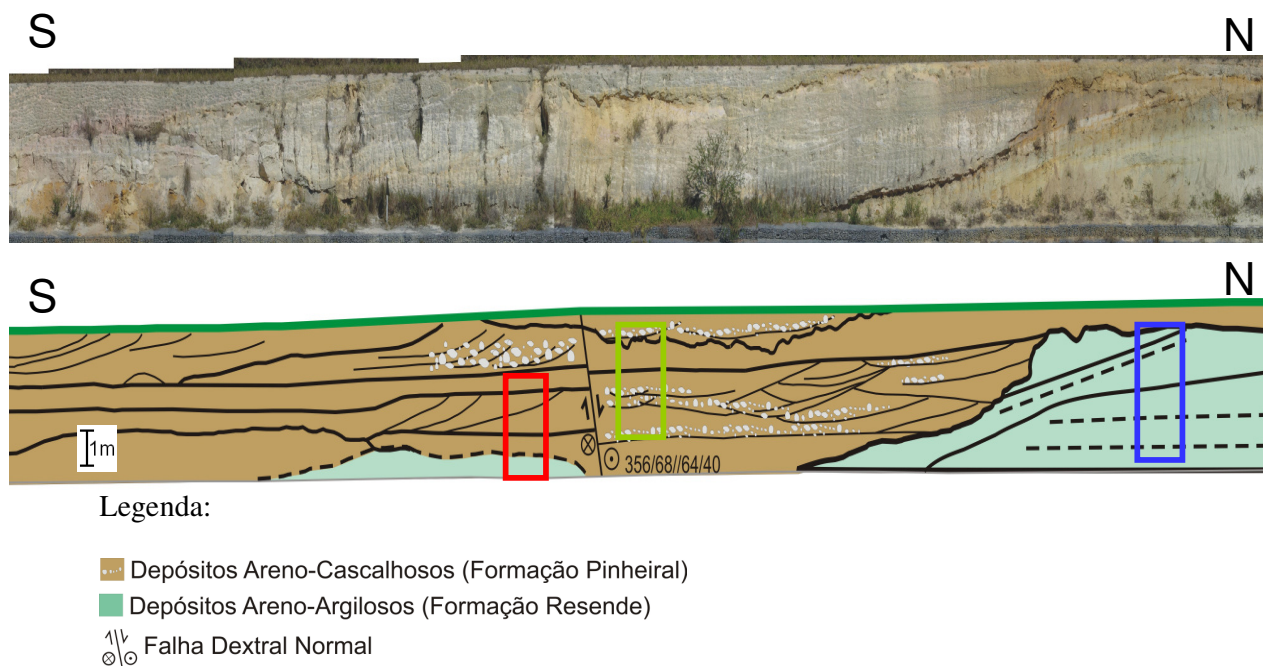


Figura 7 - Fotomosaico e reconstrução estratigráfica da seção B-C, com indicação das unidades estratigráficas presentes, separadas por uma discordância erosiva. Os quadros coloridos indicam a localização dos perfis faciológicos. Destaque para falha de natureza dextral normal, com orientação ENE-WSW, que gerou abatimento das camadas da Formação Pinheiral.

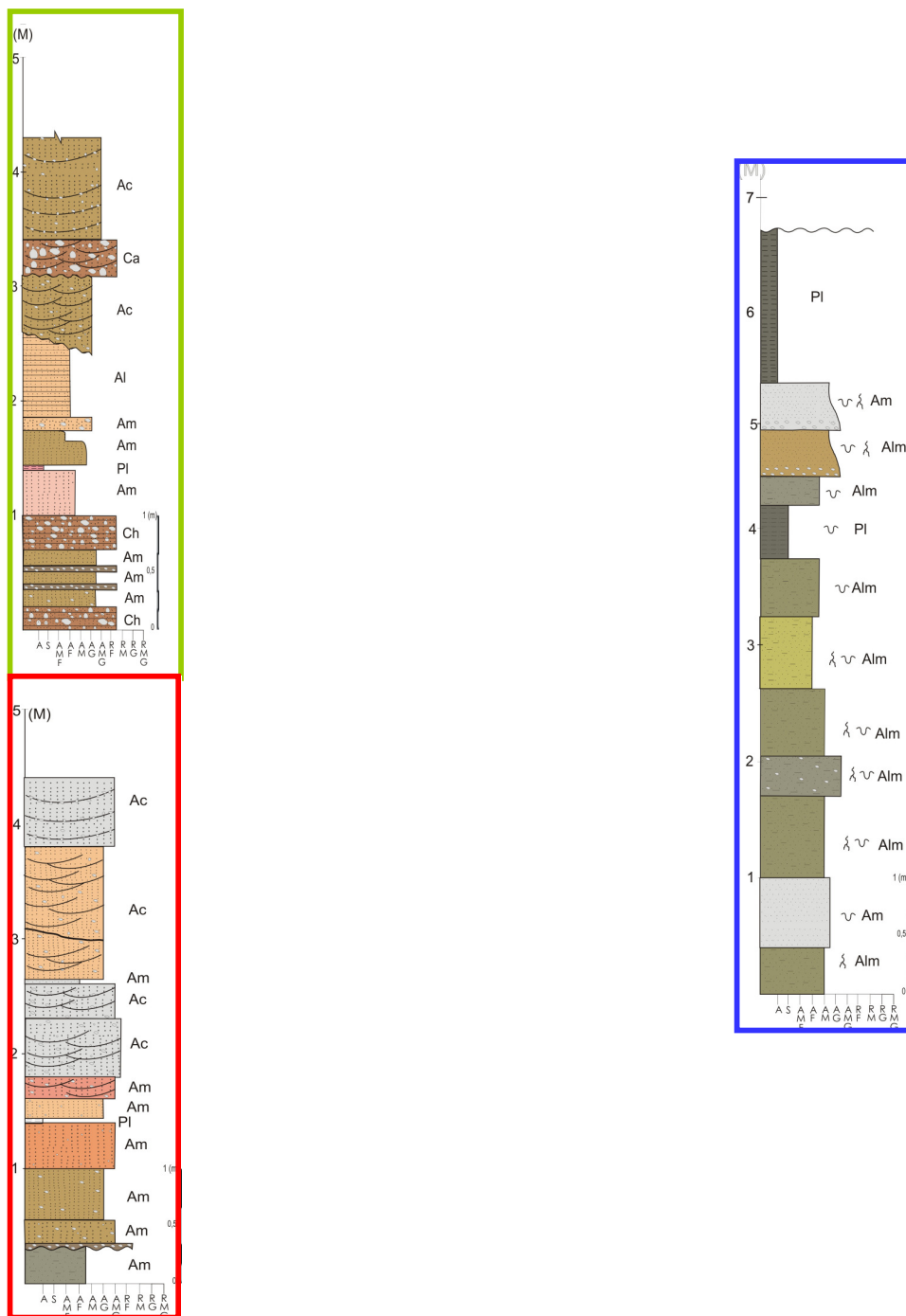


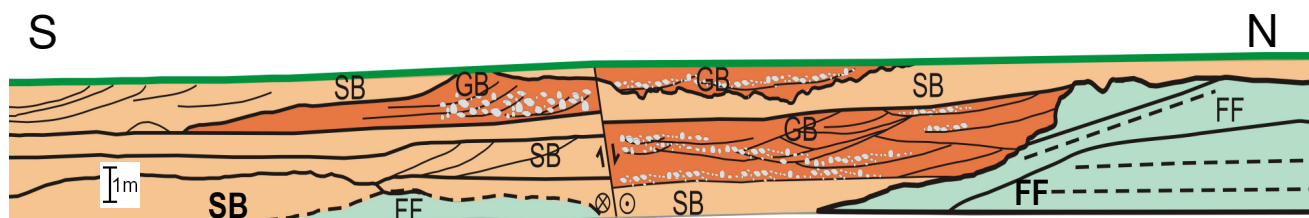
Figura 8 - Perfis faciográficos elaborados no afloramento estudado, representados pelos quadros em azul (Formação Resende), vermelho (base da Formação Pinheiral) e verde (topo da Formação Pinheiral), assinalados na figura 7.

Nesta porção do afloramento estudado, foram caracterizados três elementos arquiteturais: GB, SB e FF (figura 9).

O elemento GB (barras e formas de leito de cascalho) representa corpos sedimentares com geometria lenticular extensa, com espessuras entre 30 cm e 1 m, e extensão de cerca de 10 m, constituídos por cascalhos com estratificação plano-paralela ou cruzada acanalada, com intercalações de fácies areníticas.

O elemento SB (formas de leito arenosas) consiste em corpos sedimentares com geometria lenticular extensa, com espessuras entre 2 a 4 m, e extensão de mais de 25 m, constituídos por depósitos arenosos maciços, laminados ou com estratificação cruzada acanalada, e com fácies rudíticas e lutíticas intercaladas.

O elemento FF (depósitos finos de inundação) representa corpos sedimentares com geometria tabular, espessuras entre 30 cm e 4 m, e mais de 30 m de extensão, constituídos por argilitos, siltitos e arenitos lamosos.



Legenda:

- Elemento GB (Barras e Formas de Leito de Cascalho)
- Elemento SB (Formas de Leito Arenosas)
- Elemento FF (Depósitos Finos de Inundação)
- Falha Dextral Normal

Figura 9 - Reconstrução estratigráfica da seção B-C, com indicação dos elementos arquiteturais caracterizados no afloramento.

Baseado na interpretação dos perfis faciográficos e na identificação dos elementos arquiteturais, pode-se definir alguns aspectos referentes à arquitetura deposicional de cada unidade presente.

Na Formação Resende, ocorrem sucessões de camadas de arenitos lamosos e lamitos arenosos, de coloração esverdeada, associados às fácies Am, Pl e Alm. A geometria é geralmente tabular e apresenta certa continuidade, indicando nível de complexidade baixo, representando uma superposição de depósitos finos de inundação (elemento FF).

Os depósitos da Formação Pinheiral apresentam intercalações de camadas areníticas e conglomeráticas, geralmente estratificadas, com delgadas intercalações de camadas pelíticas. A geometria varia entre lenticular e lenticular extensa, com contatos erosivos gerados por ciclos de escavações e preenchimentos, representando nível de complexidade média. As camadas areníticas estão associadas às fácies Ac, Al e Am, geradas por preenchimento de canais e barras, representando elementos arquiteturais de formas de leito arenosas (SB). As camadas conglomeráticas se associam às fácies Ch e Ca, associadas a elementos arquiteturais de barras e formas de leito de cascalho (GB).



### **5.3 Estruturas de Deformação**

Foram medidos, ao todo, 77 (setenta e sete) planos de falha, distribuídos ao longo do afloramento estudado, coletados principalmente nas sucessões cenozóicas e em parte no embasamento alterado nas seções A-B, C-D e D-E, que apresentam uma grande quantidade e variedade de estruturas neotectônicas presentes, em pares de falhas/estrias que indicam a atuação de fases tectônicas distintas (Anexo 1).

#### **Seção A-B**

Localizada na parte sul do afloramento estudado, caracteriza-se por apresentar depósitos areno-cascalhosos e pelíticos associados à Formação Pinheiral, sobrepostos, em contato erosivo assinalado por uma linha de seixos, por um pacote areno-argiloso com seixos e grânulos dispersos, associado a depósitos quaternários.

Conjuntos de falhas normais de orientação NE-SW e ENE-WSW afetam tanto a Formação Pinheiral quanto os depósitos quaternários (figura 10). A análise do campo de paleotensão demonstra que estas estruturas foram geradas por esforços distensionais de direção NW-SE (figura 11).

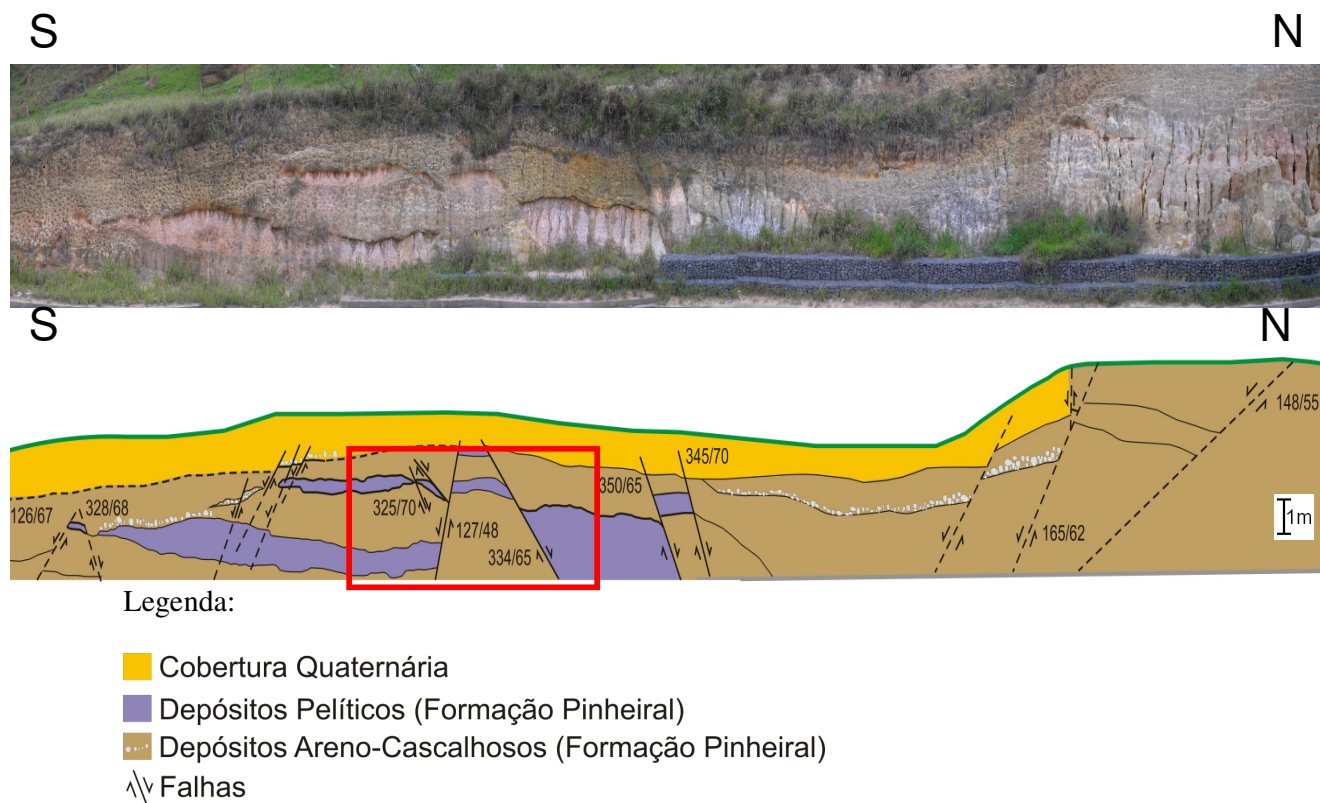


Figura 10 - Fotomosaico e reconstrução estratigráfica da seção A-B, com destaque para as falhas de orientação NE-SW que afetam tanto os depósitos da Formação Pinheiral como a sedimentação quaternária. Quadro em vermelho indica a localização da foto de detalhe apresentada na figura 11.

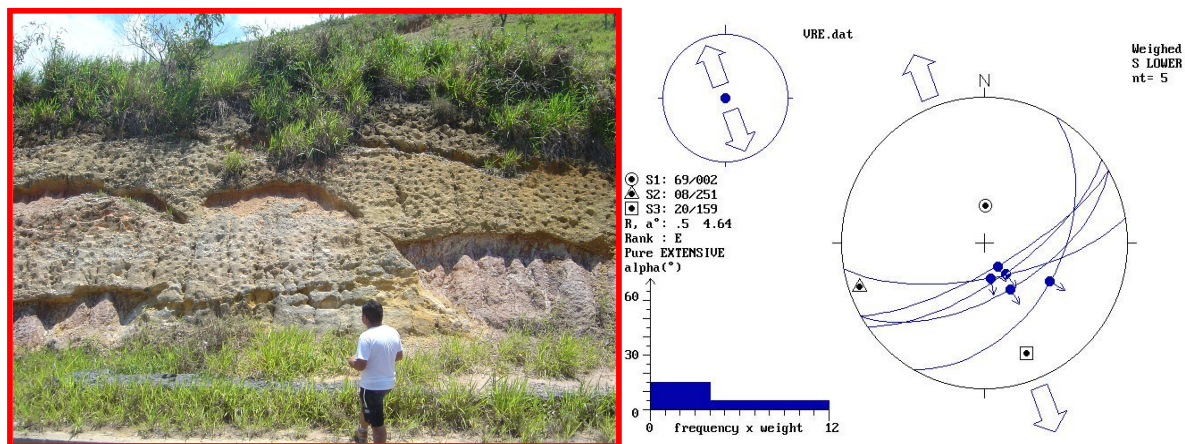


Figura 11 - Foto de detalhe da seção A-B, mostrando padrão de falhas normais deslocando as camadas da Formação Pinheiral, e projeção estereográfica indicando campo de paleotensão associado a planos normais de orientação NE-SW e ENE-WSW, gerados por esforços distensionais de direção NW-SE.

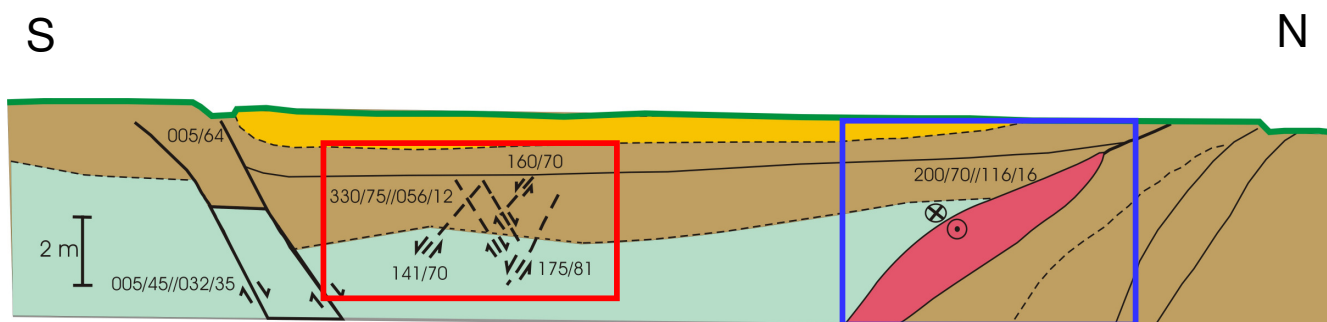
## Seção C-D

Localizada na parte norte do afloramento estudado, caracteriza-se por apresentar depósitos areno-argilosos da Formação Resende e depósitos essencialmente arenosos associados à Formação Pinheiral, sobrepostos por um pacote areno-argiloso com seixos e grânulos dispersos, associado a depósitos quaternários. Encontra-se intercalado a estas camadas um segmento do embasamento alterado (figura 12).

Nesta sessão foram observados três conjuntos de falhas. O primeiro conjunto é representado por falhas normais de orientação NE-SW e ENE-WSW, afetando todas as unidades estratigráficas. A análise do campo de paleotensão demonstra que estas estruturas foram geradas por esforços distensionais de direção NW-SE (figura 13).

O segundo conjunto é representado por falhas normais dextrais de orientação ENE-WSW e WNW-ESE, falhas dextrais normais de orientação NE-SW, e por falhas dextrais de orientação NE-SW, ENE-WSW, WNW-ESE e E-W, que afetam as Formações Resende e Pinheiral. A análise do campo de paleotensão demonstra que estas estruturas foram geradas por esforços distensionais de direção NE-SW e esforços compressionais NW-SE, compatíveis com um regime transcorrente dextral E-W (figura 13).

O terceiro conjunto é representado por falhas dextrais normais de orientação NE-SW e NW-SE e por falhas dextrais com orientação NE-SW, ENE-WSW, WNW-ESE e E-W, que afetam as Formações Resende e Pinheiral, além do segmento de rocha do embasamento alterado. A análise do campo de paleotensão demonstra que estas estruturas foram geradas por esforços distensionais de direção NE-SW e esforços compressionais NW-SE, compatíveis com um regime transcorrente dextral E-W (figura 13).



Legenda:

- Cobertura Quaternária
- Depósitos Areno-Cascalhosos (Formação Pinheiral)
- Depósitos Areno-Argilosos (Formação Resende)
- Embasamento Alterado
- Falhas Normais
- Movimentação Dextral

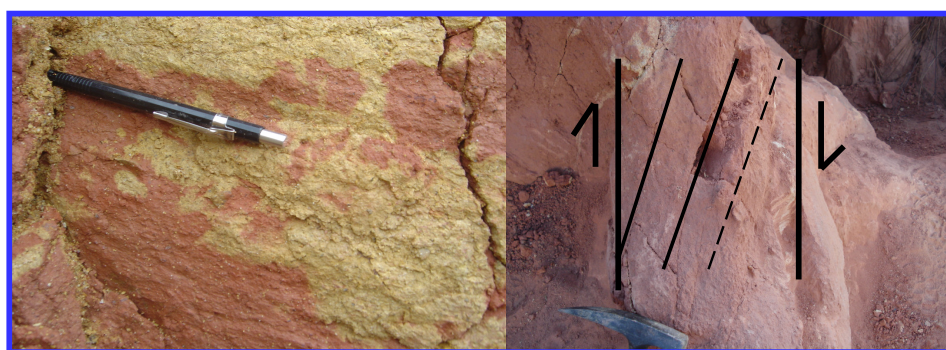
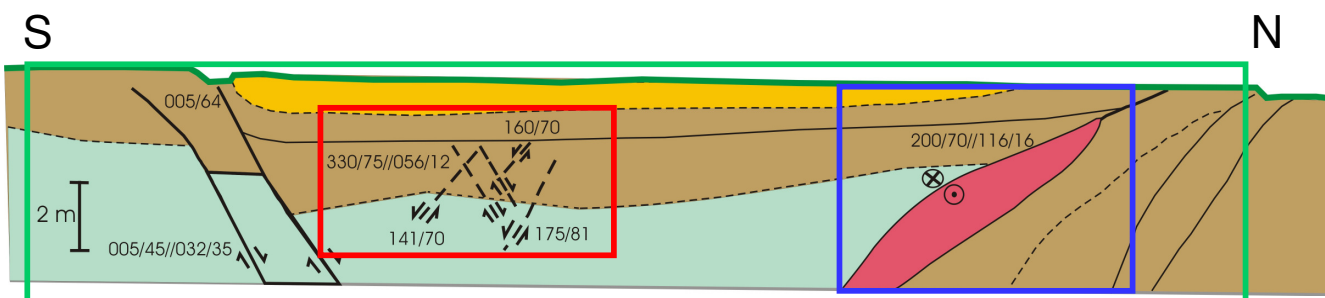


Figura 12 - Fotomosaico e reconstrução estratigráfica da seção C-D. Quadro vermelho representa foto de detalhe indicando sobreposição de diversas falhas conjugadas afetando as unidades paleogênicas. No quadro em azul, fotos de detalhe de segmento do embasamento alterado, apresentando planos de falha transcorrentes (vide estrias horizontais) em padrão conjugado (vista em planta).





Legenda:

■ Cobertura Quaternária

■ Depósitos Areno-Cascalhosos (Formação Pinheiral)

■ Depósitos Areno-Argilosos (Formação Resende)

■ Embasamento Alterado

\\ Falhas Normais

⊗ Movimentação Dextral

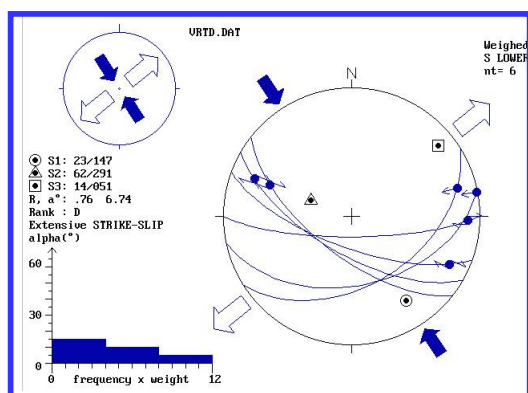
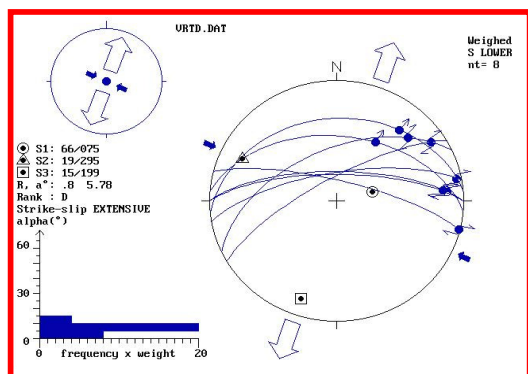
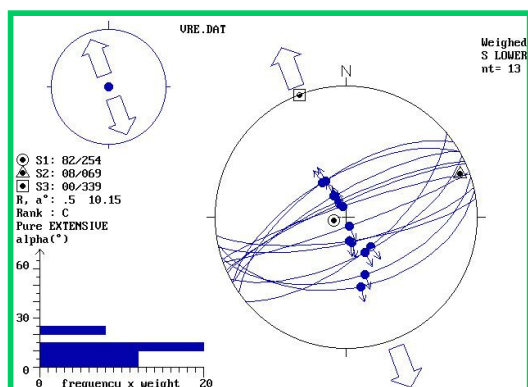
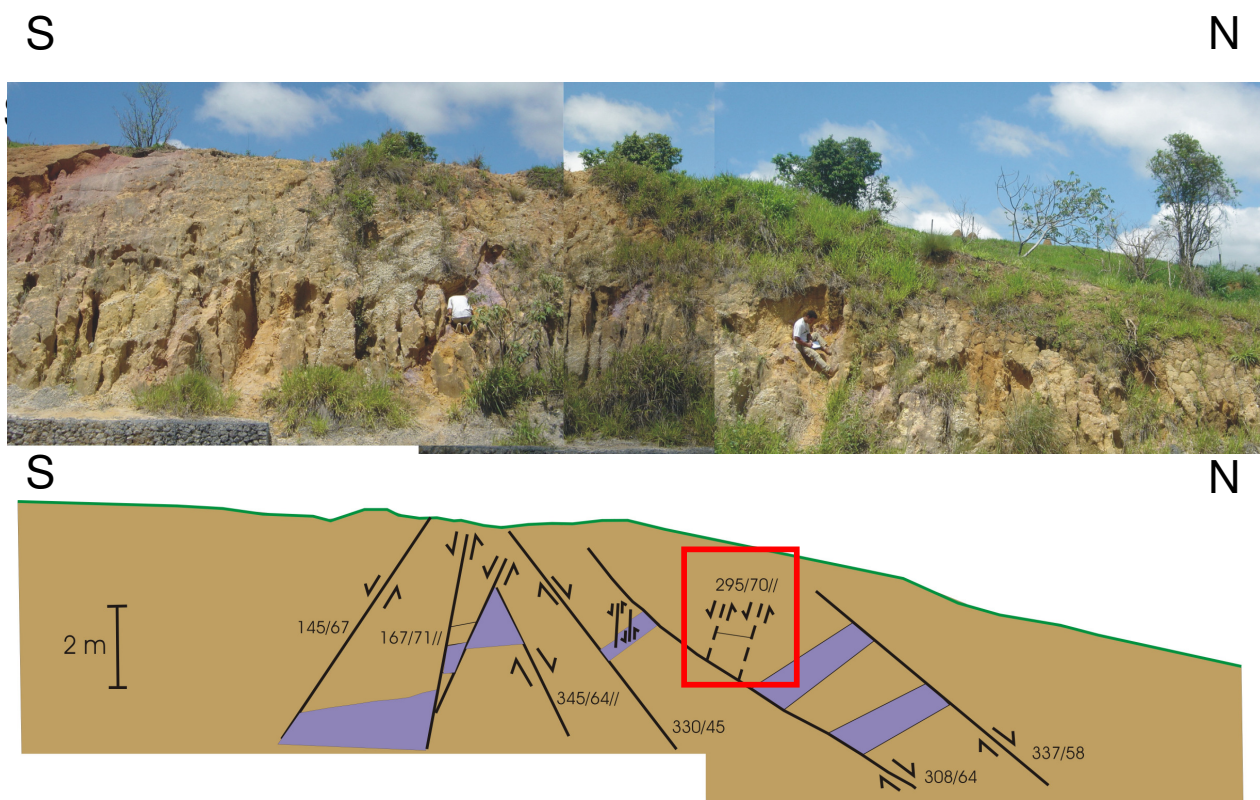


Figura13 - Reconstrução estratigráfica e projeções estereográficas dos planos de falha identificados na seção C-D - quadros verde (primeiro conjunto), vermelho (segundo conjunto) e azul (terceiro conjunto). No quadro verde: projeção estereográfica indicando campo de paleotensão associado a planos normais de orientação NE-SW e ENE-WSW, gerados por esforços distensionais de direção NW-SE. No quadro vermelho: projeção estereográfica indicando campo de paleotensão associado a falhas normais dextrais de orientação ENE-WSW e WNW-ESE, dextrais normais de orientação NE-SW e por falhas dextrais de orientação NE-SW, ENE-WSW, WNW-ESE e E-W, geradas por esforços distensionais de direção NE-SW e esforços compressoriais NW-SE, compatíveis com um regime transcorrente dextral E-W. No quadro azul: projeção estereográfica indicando campo de paleotensão associado a falhas dextrais normais de orientação NE-SW e NW-SE e por falhas dextrais com orientação NE-SW, ENE-WSW, WNW-ESE e E-W, geradas por esforços distensionais de direção NE-SW e esforços compressoriais NW-SE, compatíveis com um regime transcorrente dextral E-W.

Localizada na parte norte do afloramento estudado, caracteriza-se por apresentar depósitos arenosos e pelíticos associados à Formação Pinheiral.

Nesta seção foram observados conjuntos de falhas normais de orientação NE-SW, NNE-SSW e ENE-WSW (figura 14). A análise do campo de paleotensão demonstra que estas estruturas foram geradas por esforços distensionais de direção NW-SE (figura 15).



Legenda:

- Depósitos Pelíticos (Formação Pinheiral)
- Depósitos Areno-Cascalhosos (Formação Pinheiral)
- Falhas Normais

Figura 14 - Fotomosaico e reconstrução estratigráfica da seção D-E, com destaque para as falhas de orientação NE-SW que afetam os depósitos da Formação Pinheiral. Quadro em vermelho indica a localização da foto de detalhe apresentada na figura 15.

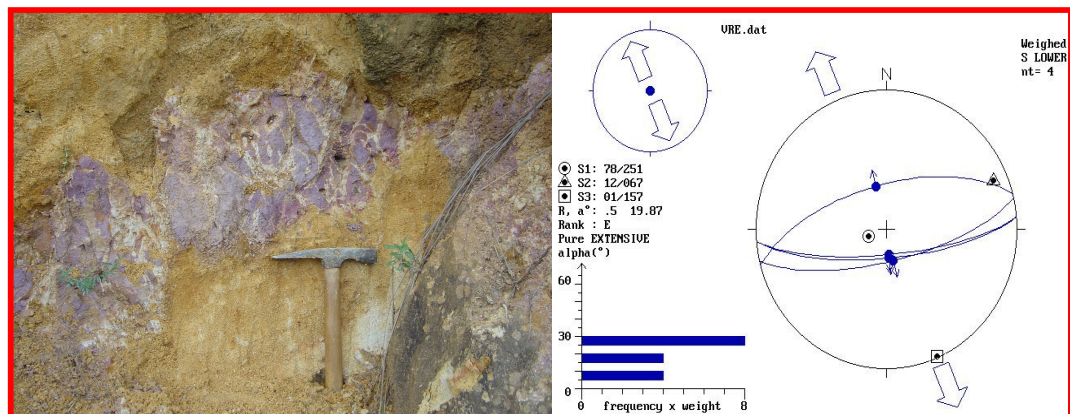


Figura 15 - Foto de detalhe observado na seção D-E, mostrando padrão de falhas nas camadas pelíticas, e projeção estereográfica indicando campo de paleotensão associado a planos normais de orientação NE-SW e ENE-WSW, gerados por esforços distensionais de direção NW-SE

## 6 – CONCLUSÕES

As estruturas de deformação tectônicas reconhecidas resultam em aumento considerável no nível de complexidade das sucessões sedimentares, exercendo grande influência na continuidade da geometria dos depósitos paleógenos, neógenos e quaternários encontrados no afloramento estudado, alterando assim o arranjo tridimensional destas sucessões. Este aspecto é bastante relevante para os estudos de avaliação da distribuição dos aquíferos.

Foram identificadas duas fases de reativação neotectônica, correlacionáveis com as duas últimas fases de deformação neotectônicas descritas na bacia de Volta Redonda: uma relacionada ao evento pleistocênico de transcorrência dextral E-W; e outra associada ao evento de distensão NW-SE holocênico.

Recomenda-se, em trabalhos futuros, a realização de ensaios de índices de vazão e permeabilidade das sucessões sedimentares naturalmente fraturadas da bacia de Volta Redonda, de modo a avaliar quantitativamente a influência dos padrões de fraturamento no modelo de funcionamento dos aquíferos sedimentares.



## 7 – REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Albuquerque, A.P.B; Mello, C.L.; Júnior, G.C. da S.; Pizani, T.C. 2003. Fraturamento Neotectônico e sua aplicação na análise de Hidrogeológica na Bacia de Resende (RJ) *In* Informe Técnico N°1 – Encarte da Revista Águas – ANO I - N°1- agosto/setembro/2003
- Almeida, F.F.M. 1976. The system of continental rifts bordering the Santos Basin, Brazil. *An. Acad. Bras. Ciências*, Rio de Janeiro, 48:15-26.
- Amador, E.S. & Castro, M.I.B. 1976. Depósitos neoceno-zóicos da bacia de Volta Redonda, RJ. *In*: CONGR. BRAS. GEOL., 29. *Anais*, Ouro Preto, SBG, v.1, p.307-327.
- Angelier, J. 1994. Fault slip analysis and paleostress reconstruction. *In*: P.L., Hancock (ed.). Continental Deformation. Oxford: Pergamon Press, pp: 53-100
- Angelier, J. & Mechler, P. 1977. Sur une méthode graphique de recherche des contraintes principales également utilisable en tectonique et en seismologie: la méthode des dièdres droits. *Bull. Soc. Geol. Fr.*, 7:1309-1318
- Bettini, C. (Coord). 2004. *Modelagem estratigráfica de reservatórios terrígenos: aplicação à avaliação do potencial hídrico da bacia de Resende (RJ)*. Relatório, UFRJ / CPRM / ON, Rio de Janeiro, 266 p.
- Borba C., Aguiar L. A. M., Maciel W.B., Almeida M. S. de., Filho D. C. D. & Souza R. S. de. 2004. Aspectos controladores do potencial selante de falhas: exemplo do Campo de Pilar, Bacia de Sergipe-Alagoas, Brasil. *In* B. Geoci. Petrobras, Rio de Janeiro, v. 12, n. 1, p. 103-123, nov. 2003/maio 2004.
- Borghi, L. 2000. Visão geral da análise de fácies sedimentares do ponto de vista da arquitetura deposicional. *In*: Bol. Mus. Nac., Geol., Rio de Janeiro, n. 53, p. 1-26, ago. 2000.
- Hasui, Y.; Carneiro, C.D.R. & Coimbra, A.M. 1975. The Ribeira Folded Belt. *Rev. bras. Geoc.*, 5:257-264.
- Hasui, Y.; Gimenez, A.F. & Melo, M.S. 1978. Sobre as bacias tafrogênicas continentais do sudeste brasileiro. *In*: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 30, *Anais*, Recife, SBG, v.1, p.382-392.

- Heilbron, M., Pedrosa-Soares, A.C., Campos Neto, M.C., Silva, L.C., Trouw, R.A.J., Janasi, V.A. 2004. Província Mantiqueira. In: V. Mantesso-Neto, A. Bartorelli, C. Dal Ré Carneiro & B.B. Brito Neves (orgs.) *Geologia do Continente Sul-Americano – Evolução da Obra de Fernando Flávio Marques de Almeida*. Beca, p. 203-235.
- Marques, C.C.S 2006. *Análise multiescalar de atributos sedimentares em depósitos fluviais paleogênicos da bacia de Volta Redonda, RJ. Trabalho de Conclusão de Curso* (Bacharelado em Geologia) – Departamento de Geologia, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio de Janeiro, 46 p.
- Mello, C.L. 1992. *Fácies Sedimentares, Arquitetura Depositional e Relações Morfoestratigráficas em um Sistema de Leques Aluviais Holocênicos: Aloformação Manso - médio vale do rio Paraíba do Sul (SP/RJ)*. Dissertação de Mestrado, Departamento de Geologia Universidade Federal do Rio de Janeiro, 188 p.
- Mello, C.L.; Moura, J.R.S.; Carmo, I.O.; Silva, T.N.; Peixoto, M.N.O. 1995. Eventos de sedimentação durante o Holoceno no médio vale do rio Paraíba do Sul (SP/RJ) – aloestratigrafia e datações por radiocarbono. In: CONGRESSO DA ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ESTUDOS DO QUATERNÁRIO/ABEQUA, 5. *Anais*, p. 193 – 197.
- Melo, M.S.; Riccomini, C.; Campanha, G.A.C.; Mito, J.A. ; Almeida, F.F.M.; Hasui, Y.; Ponçano, W.L. & Gimenez, A.F. 1983. *Estudos geológico-tectônicos na Bacia de Resende (RJ) e sedimentos terciários de Volta Redonda (RJ) e Bacia de Taubaté (área de Cruzeiro-SP)*. Relatório 17.737, IPT, São Paulo, 124 p.
- Miall, A.D. 1985. Architectural-element analysis: a new method of facies analysis applied to fluvial deposits. *Earth-Sci. Rev.*, n. 22, p. 261-308.
- Miall, A.D. 1996. *The Geology of Fluvial Deposits: Sedimentary Facies, Basin Analysis, and Petroleum Geology*. Springer Verlag; 582p.
- Morais, R.M.O. de. 2007. *Sistemas fluviais terciários na área emersa da bacia do Espírito Santo (formações Rio Doce e Barreiras)*. Rio de Janeiro, 144p. Tese (Doutorado em Geologia) – Programa de Pós-Graduação em Geologia, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.
- Paim P.S.G.; U.F. Faccini U.F.& Netto, R.G. 2003. *Geometria, arquitetura e heterogeneidades de corpos sedimentares – Estudo de casos*. Programa de Pós Graduação em Geologia – Universidade do Vale do Rio dos Sinos, São Leopoldo, RS. 239 p.
- Park, R.G. 1989. *Foundations of Structural Geology*. 2ed. New York, Chapman & Hall.148p.

- Ramos, R.R.C. 2003. *Sistemas Aluviais Terciários da Bacia de Resende, Estado do Rio de Janeiro, Brasil: Análise de Fácies e Revisão Estratigráfica*. Tese de Doutorado, Departamento de Geologia, Universidade Federal do Rio de Janeiro, 221 p.
- Reading, H.G., 1986. Facies. In: READING, H.G. (ed.), *Sedimentary environments and facies*. 2ed. Oxford, Blackwell Scientific Publications. p.4-19.
- Riccomini, C. 1989. *O Rift Continental do Sudeste do Brasil*. Tese de Doutorado, Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, 256 p.
- Riccomini, C., Sant'Anna, L.G., Ferrari, A.L. 2004. Evolução geológica do Rift Continental do Sudeste do Brasil. In: V. Mantesso-Neto, A. Bartorelli, C. Dal Ré Carneiro & B.B. Brito Neves (orgs.) *Geologia do Continente Sul-Americano – Evolução da Obra de Fernando Flávio Marques de Almeida*. Beca, p. 383-405.
- Salvador, E.D. & Riccomini, C. 1995. Neotectônica do Alto Estrutural de Queluz (SP-RJ, Brasil). *Rev. Bras. Geoc.*, São Paulo, **25** (3):151-164.
- Sanson, M.S.R. 2006. *Sistemas Depositionais Aluviais e Tectônica Rúptil Cenozóica na Região de Volta Redonda (RJ) – Rift Continental do Sudeste do Brasil*. Dissertação de Mestrado, Departamento de Geologia, Universidade Federal do Rio de Janeiro. xvi, 142 p.
- Sanson, M.S.R., Ramos, R.R.C, Mello, C.L. 2006. Bacia de Volta Redonda in PHOENIX, ano 8 – Número 8 – Abril 2006. 5p.
- Trouw, R.A.J., Heilbron, M., Ribeiro, A., Paciullo, F.V.P., Valeriano, C.M., Almeida, J.C.H., Tupinambá, M., Andreis, R.R. 2000. The central segment of the Ribeira belt, In: U.G. Cordani, E.J.; Milani, E.J.; Thomaz Filho, A.; Campos, D.A., *Tectonic Evolution of South America*, 854 p. 31<sup>st</sup> International Geological Congress, Rio de Janeiro, 287-310.

## **ANEXOS**

## **ANEXO 1: Tabela de dados estruturais**

### **LEGENDA:**

**E2 - Regime de distensão NW-SE holocênico**

**TD - Regime de transcorrência dextral E-W pleistocênico**

LOCALIDADE (Coord. UTM)	Nº	PLANO	ESTRIA	FRATURA	STRIKE	REGIME TECTÔNICO	UNIDADE ESTRATIGRÁFICA
Rodovia do Contorno (BR-393) (GPS: 0597714/7509225) Seção A-B	1	334/65	-	Junta	N 64 E		FORMAÇÃO PINHEIRAL E DEPÓSITOS QUATERNÁRIOS (LINHAS DE SEIXOS)
	2	127/48	-	Junta	N 37 E		
	3	325/70	-	Junta	N 55 E		
	4	328/68	-	Junta	N 58 E		
	5	126/67	-	Junta	N 36 E		
	6	150/60	150/60	Falha Normal	N 60 E	E2	
	7	170/70	170/70	Falha Normal	N 80 E	E2	
	8	120/46	120/46	Falha Normal	N 30 E	E2	
	9	150/75	150/75	Falha Normal	N 60 E	E2	
	10	142/32	-	Junta	N 52 E		
	11	350/65	-	Junta	N 80 E		
	12	345/70	-	Junta	N 75 E		
	13	145/69	145/69	Falha Normal	N 55 E	E2	
	14	165/62	-	Junta	N 75 E		
	15	148/55	-	Junta	N 58 E		
LOCALIDADE (Coord. UTM)	Nº	PLANO	ESTRIA	FRATURA	STRIKE	REGIME TECTÔNICO	UNIDADE ESTRATIGRÁFICA
Rodovia do Contorno (BR-393) (GPS: 0597714/7509225) Seção C-D	16	005/64	-	Junta	N 85 W		FORMAÇÃO RESENDE / PINHEIRAL
	17	335/76	-	Junta	N 65 E		
	18	005/45	032/42	Normal Dextral	N 85 W	TD	
	19	335/55	046/24	Dextral Normal	N 65 E	TD	
	20	355/32	040/24	Normal Dextral	N 85 E	TD	
	21	160/77	-	Junta	N 70 E		
	22	141/70	-	Junta	N 51 E		
	23	130/87	-	Junta	N 40 E		
	24	320/70	-	Junta	N 50 E		

LOCALIDADE (Coord. UTM)	Nº	PLANO	ESTRIA	FRATURA	STRIKE	REGIME TECTÔNICO	UNIDADE ESTRATIGRÁFICA
Rodovia do Contorno (BR-393) (GPS: 0597714/7509225) Seção C-D	25	136/81	-	Junta	N 46 E		FORMAÇÃO RESENDE / PINHEIRAL
	26	334/86	-	Junta	N 64 E		
	27	175/81	-	Junta	N 85 E		
	28	330/64	330/64	Falha Normal	N 60 E	E2	
	29	140/84	-	Junta	N 50 E		
	30	142/82	-	Junta	N 52 E		
	31	132/88	-	Junta	N 42 E		
	32	000/70	084/17	Dextral	E - W	TD	
	33	014/76	104/00	Dextral	N 76 W	TD	
	34	325/64	325/64	Falha Normal	N 55 E	E2	
	35	350/71	078/04	Dextral	N 80 E	TD	
	36	000/72	085/14	Dextral	E - W	TD	
	37	330/75	056/12	Dextral	N 60 E	TD	
		330/75	330/75	Falha Normal	N 60 E	E2	
	38	010/80	092/34	Dextral	N 80 W	TD	
	39	341/83	341/83	Falha Normal	N 71 E	E2	
	40	335/76	-	Junta	N 65 E		
	41	335/79	335/79	Falha Normal	N 65 E	E2	
	42	336/81	336/81	Falha Normal	N 66 E	E2	
	43	125/80	-	Junta	N 35 E		

Rodovia do Contorno (BR-393) (GPS: 0597714/7509225) Seção C-D	44	148/45	075/16	Dextral Normal	N 58 E	TD	FORMAÇÃO RESENDE / PINHEIRAL/ EMBASAMENTO
	45	147/88	063/66	Dextral	N 57 E	TD	
	46	172/75	172/75	Falha Normal	N 82 E		
	47	148/62	064/10	Dextral	N 58 E	TD	
	48	162/52	162/52	Falha Normal	N 72 E	E2	
	49	140/58	-	Junta	N 50 E		
	50	218/65	290/32	Dextral Normal	N 52 W	TD	
	51	167/74	167/74	Falha Normal	N 77 E	E2	
	52	152/65	152/65	Falha Normal	N 62 E	E2	
	53	144/47	-	Junta	N 54 E		
	54	175/82	-	Junta	N 85 E		
	55	210/66	290/20	Dextral Normal	N 60 W	TD	
	56	200/70	116/16	Dextral	N 70 W	TD	
	57	140/66	140/66	Falha Normal	N 50 E	E2	
	58	160/84	160/84	Falha Normal	N 70 E	E2	
	59	180/77	092/10	Dextral	E -W	TD	
	60	168/45	078/00	Dextral	N 78 E	TD	
		168/45	168/45	Falha Normal	N 78 E	E2	
	61	352/88	-	Junta	N 82 E		
	62	212/69	-	Junta	N 58 W		
	63	196/53	-	Junta	N 74 W		



Rodovia do Contorno (BR-393) (GPS: 0597714/7509225) Seção D-E	64	145/67	-	Junta	N 55 E		FORMAÇÃO PINHEIRAL
	65	167/71	167/71	Falha Normal	N 77 E	E2	
	66	160/73	-	Junta	N 70 E		
	67	345/64	345/64	Falha Normal	N 75 E	E2	
	68	330/45	-	Junta	N 60 E		
	69	175/73	175/73	Falha Normal	N 85 E	E2	
	70	175/75	175/75	Falha Normal	N 85 E	E2	
	71	295/70	295/70	Falha Normal	N 25 E	E2	
	72	308/52	-	Junta	N 38 E		
	73	307/72	307/72	Falha Normal	N 37 E	E2	
	74	125/77	125/77	Falha Normal	N 35 E	E2	
	75	337/58	-	Junta	N 67 E		

LOCALIDADE (Coord. UTM)	Nº	PLANO	ESTRIA	FRATURA	STRIKE	REGIME TECTÔNICO	UNIDADE ESTRATIGRÁFICA
Rodovia do Contorno (BR-393) (GPS: 0597714/7509225) Seção B-C	76	356/68	64/40	Dextral Normal	N 86 E	TD	FORMAÇÃO PINHEIRAL
	77	014/72	-	Junta	N 76 W	E2	